



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(2)

<p>(51) 国際特許分類7 C03B 37/027, G02B 6/00</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/69782</p> <p>(43) 国際公開日 2000年11月23日(23.11.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP00/03061</p> <p>(22) 国際出願日 2000年5月12日(12.05.00)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平11/135043 1999年5月14日(14.05.99) JP 特願2000/128307 2000年4月27日(27.04.00) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 フジクラ(FUJIKURA LTD.)(JP/JP) 〒135-8512 東京都江東区木場一丁目5番1号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ) 藤巻宗久(FUJIMAKI, Munchisa)(JP/JP) 高橋浩一(TAKAHASHI, Koichi)(JP/JP) 〒285-8550 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社 フジクラ 佐倉事業所内 Chiba, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 志賀正武, 外(SHIGA, Masatake et al.) 〒169-8925 東京都新宿区高田馬場三丁目23番3号 ORビル Tokyo, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 CN, US</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
<p>(54)Title: METHOD OF MEASURING TORSION OF OPTICAL FIBER, AND METHOD AND DEVICE FOR MANUFACTURING OPTICAL FIBER AND DEVICE</p> <p>(54)発明の名称 光ファイバの捻れ測定方法および光ファイバの製造方法ならびに装置</p> <p>(57) Abstract When a base material (1) for an optical fiber is drawn to form an optical fiber (3), torsion is generated in the optical fiber (3). The outer diameter of the optical fiber (3) is continuously measured in the longitudinal direction of the optical fiber (3) from the different two directions in the plane perpendicular to the extending direction of the optical fiber (3) by means of a torsion measuring instrument (4). Thereby, the torsion of the optical fiber (3) is measured.</p> <div data-bbox="1071 1260 1445 1953"> </div>		

(57)要約

光ファイバ母材 1 を線引きして光ファイバ 3 を形成する際に、光ファイバ 3 に捻れを生じさせる。捻れ測定装置 4 によって、光ファイバ 3 の外径を、光ファイバ 3 の進行方向に対して垂直な面内における異なる 2 方向から、光ファイバの長さ方向に沿って連続して測定することによって、光ファイバ 3 の捻れを測定する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AG アンティグア・バーブーダ	DZ アルジェリア	LC セントルシア	SD スーダン
AL アルバニア	EE エストニア	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AM アルメニア	ES スペイン	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AT オーストリア	FI フィンランド	LR リベリア	SI スロヴェニア
AU オーストラリア	FR フランス	LS レソト	SK スロヴァキア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LT リトアニア	SL シエラ・レオネ
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LV ラトヴィア	SN セネガル
BB バルバドス	GD グレナダ	MA モロッコ	SZ スワジランド
BE ベルギー	GE グルジア	MC モナコ	TD チャード
BF ブルキナ・ファソ	GH ガーナ	MD モルドヴァ	TG トーゴ
BG ブルガリア	GM ガンビア	MG マダガスカル	TJ タジキスタン
BJ ベナン	GN ギニア	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM トルクメニスタン
BR ブラジル	GR ギリシャ	共和国	TR トルコ
BY ベラルーシ	GW ギニア・ビサウ	マリ	TT トリニダード・トバゴ
CA カナダ	HR クロアチア	ML モンゴル	TZ タンザニア
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	MN モーリタニア	UA ウクライナ
CG コンゴ	ID インドネシア	MW マラウイ	UG ウガンダ
CH スイス	IE アイルランド	MX メキシコ	US 米国
CI コートジボアール	IL イスラエル	MZ モザンビーク	UZ ウズベキスタン
CM カメルーン	IN インド	NE ニジェール	VN ヴェトナム
CN 中国	IS アイスランド	NL オランダ	YU ユーゴスラヴィア
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NO ノールウェー	ZA 南アフリカ共和国
CU キューバ	JP 日本	NZ ニュー・ジーランド	ZW ジンバブエ
CY キプロス	KE ケニア	PL ポーランド	
CZ チェッコ	KG キルギスタン	PT ポルトガル	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	RO ルーマニア	
DK デンマーク	KR 韓国		

## 明 細 書

光ファイバの捻れ測定方法および光ファイバの製造方法ならびに装置

## 技術分野

本発明は、偏波モード分散が小さい光ファイバを得るために、光ファイバを製造する際に光ファイバに捻れを生じさせる方法において、光ファイバの捻れ状態を測定できるようにした方法および装置に関する。

本出願は日本国への特許出願（特願平 1 1 - 1 3 5 0 4 3 号および特願 2 0 0 0 - 1 2 8 3 0 7 号）に基づくものであり、当該日本出願の記載内容は本明細書の一部として取り込まれるものとする。

## 背景技術

従来より、石英系ガラスからなる円柱形の光ファイバ母材を線引きして光ファイバを製造する際に、光ファイバに捻れを生じさせることによって、偏波モード分散（PMD）が小さい光ファイバを得る方法が提案されている。

例えば、特開平 8 - 5 9 2 7 8 号公報には、光ファイバ母材を高速で回転させながら線引きする方法が提案されている。

特開平 8 - 2 9 5 5 2 8 号公報には、光ファイバに被覆層を形成した後の光ファイバ素線を、回転軸の傾きを変化させるように往復運動する揺動ガイドローラーでガイドした後、回転軸が固定されたガイドローラーでガイドすることによって、光ファイバ素線に捻れを生じさせる方法が開示されている。

特開平 9 - 2 8 3 4 号公報には、光ファイバに被覆層を形成した後の

光ファイバ素線を、回転軸方向と周面との角度が、周方向に沿って変化するよう構成されたローラーを用いてガイドすることによって光ファイバ素線に捻れを生じさせる方法が開示されている。

特表平10-507438号公報では、被覆層を形成した後の光ファイバを、互いに相反する方向に回転する2つのプーリーに挟み込んだ状態で、この2つのプーリーを、光ファイバの長さ方向に対して垂直な方向に沿って、相反する方向に進退させることによって、光ファイバに捻れを加える方法が提案されている。

ところで、このようにして捻れを加えつつ製造された光ファイバのPMD特性は、光ファイバの捻れの状態、例えば一定の長さの光ファイバにおいて、どちら向きの捻れが何回転生じているかによって決まる。しかしながら、光ファイバに付与された捻れの状態を測定する方法については、未だ何の提案もなされていなかった。このため、光ファイバの捻れ状態は、従来は、光ファイバ母材の回転数やプーリーの移動速度などの製造条件から算出した見かけの回転数等から推測せざるを得なかった。しかし、見かけの回転数と実際の回転数（実質回転数）とは必ずしも一致せず、従来の方法は正確さを欠くものであった。

本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、捻れを加えながら製造した光ファイバの実際の捻れ状態を正確に測定できるようにすることを目的とする。

## 発明の開示

本発明の光ファイバの捻れ測定方法は、光ファイバの外径を、該光ファイバの長さ方向に対して垂直な面内における異なる2方向から、該光ファイバの長さ方向に沿って連続して測定することを特徴とする。

本発明の光ファイバの捻れ測定装置は、光ファイバの外径を、該光フ

ファイバの長さ方向に対して垂直な面内における異なる 2 方向から、該光ファイバの長さ方向に沿って連続して測定する手段を備えてなることを特徴とする。

また本発明の光ファイバ製造方法は、光ファイバ母材を線引きして光ファイバを形成する工程と、該光ファイバに捻れを生じさせる工程と、該光ファイバの外径を該光ファイバの進行方向に対して垂直な面内における異なる 2 方向から連続して測定する工程を有することを特徴とする。

本発明の光ファイバ製造装置は、光ファイバ母材を線引きして光ファイバを形成する手段と、該光ファイバに捻れを生じさせる手段と、該光ファイバの外径を該光ファイバの進行方向に対して垂直な面内における異なる 2 方向から連続して測定する手段を備えてなることを特徴とする。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の光ファイバ製造装置の第 1 の実施例を示した概略構成図である。

図 2 は、本発明に係る線引き工程を示したもので、図 2 (A) はメニスカス部の説明図、図 2 (B) は光ファイバの非円状態を誇張して示した説明図である。

図 3 は、本発明の捻れ測定装置で得られる測定結果の例を示すグラフである。

図 4 は、本発明の捻れ測定装置で得られる別の測定結果の例を示すグラフである。

図 5 は、本発明の光ファイバ製造装置の第 2 の実施例を示した概略構成図である。

図 6 は、本発明に係る実施例における測定結果の例を示すグラフである。

図 7 は、本発明に係る実施例における測定結果の例を示すグラフである。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を詳しく説明する。

図 1 は本発明の光ファイバの製造方法を実施するのに好適な装置の第 1 の実施例を示した概略工程図であり、図中符号 1 は光ファイバ母材である。また図 2 は光ファイバ母材 1 の線引き工程を示したものである。

本実施例の装置は、加熱炉 2、捻れ測定装置 4、コーティング装置 5、コーティング同心性モニター 6、紫外線ランプ装置 7、外径測定装置 8、ターンプリー 9、およびガイドプリー 10 を備えている。また光ファイバに捻れを生じさせる手段として、光ファイバ母材 1 を高速回転させる手段（図示せず）が設けられている。

本実施例の装置を用いて光ファイバを製造するには、まず光ファイバ母材 1 を高速回転させながら、加熱炉 2 内に垂直に挿入して加熱、溶融させて線引きすることによって、捻れが生じた光ファイバ 3 を形成する。光ファイバ母材 1 の回転方向は常に一定とする。

線引きにより形成された光ファイバ 3 は、捻れ測定装置 4 に導入される。捻れ測定装置 4 は、被覆層が形成される前の光ファイバ 3 の外径を、光ファイバ 3 の進行方向に対して垂直な面内における異なる 2 方向から同時に測定する手段を備えたものであれば任意の構成を採用することができる。ここでの測定結果を用いて、後述の捻れ測定方法により光ファイバ 3 に生じている捻れの状態が測定される。

捻れ測定装置を通過した光ファイバ 3 は、傷ついたりするのを防止す

るために直ちに被覆が施されて光ファイバ素線 11 となる。すなわち光ファイバ 3 はコーティング装置 5 に導入され、ここを通過することによって光ファイバ 3 の周囲に紫外線硬化型樹脂が塗布される。続いて、コーティング同心性モニター 6 を通過する際に樹脂厚さの均一性がモニターされた後、紫外線ランプ装置 7 を通過する際に紫外線が照射されて樹脂が硬化し、一次被覆層が形成される。

光ファイバ 3 に一次被覆層が形成された光ファイバ素線 11 は、外径測定装置 8 を通過する際にその外径が測定された後、ターンブリー 9、およびガイドブリー 10 等によって導かれて、ポビン（図示せず）に巻き取られる。

次に、本発明の捻れ測定方法について説明する。

本発明の捻れ測定方法は、線引きによって形成される光ファイバ 3 の断面が真円形でなく、わずかに非円となっていることを利用するものである。すなわち、光ファイバ 3 の断面は真円形であることが理想的であるが、実際には非円率 0.1～0.5% 程度の非円となっている。非円率は

$$(\text{長径} - \text{短径}) / \text{長径} \times 100 (\%)$$

で定義されるもので、光ファイバ 3 の断面における長径と短径の差は 0.1～0.6 μm 程度ある。光ファイバ 3 が非円となる理由としては、光ファイバ母材 1 を完全な真円形に形成するのは技術的に不可能であり、光ファイバ母材 1 自体がわずかに非円となっていること、および線引きの際に使用する加熱炉 2 内における温度分布が完全に軸対称ではないこと、などが挙げられる。

本発明者等は、図 2 (A) に示す線引き工程において、本実施例のように捻れを加えながら線引きする場合には、光ファイバ母材 1 の温度が最高温度となるメニスカス下部 B で光ファイバ 3 の捻れが生じること、

および光ファイバ3の非円状態はこれよりも上方のメニスカス上部Aにおいてほとんど決まることを見い出した。

つまり光ファイバ3は、線引き工程において非円状態が決まった後に捻れが生じる。したがって、図2(B)に光ファイバ3断面の非円状態を誇張して示すと、光ファイバ3の長さ方向に沿って、光ファイバ3断面の長径方向が軸周りに漸次回転するように変化している。

したがって、測定位置を固定して、進行する光ファイバ3の外径を長さ方向に沿って連続的にモニターすれば、外径の測定値は、例えば図3に示すように波形のグラフとなる。図3において縦軸は外径測定値を示している。また横軸は時刻であり、すなわち光ファイバ3の長さを表す。このようにして得られる波形のグラフの振幅は光ファイバ3の断面における長径と短径の差であり、周期は捻れが半回転する長さを表す。

本実施例では、捻れ測定装置4に2つの外径測定装置(C、Dとする)を使用し、光ファイバ3の進行方向(長さ方向)に対して垂直な一つの平面内において異なる2方向から光ファイバ3の外径を測定する。2方向からの測定は同時に行う。また外径の測定は長さ方向に沿って連続して行う。例えば、2つの外径測定装置による測定方向のなす角度 $\theta$ が $45^\circ$ である場合には、それぞれの装置での外径の測定値は図3の実線および破線のように変化する。図3において実線は装置Cの測定結果、破線は装置Dの測定結果をそれぞれ示している。

もし仮に、光ファイバ3に捻れが生じていなかったら、装置Cにおける外径測定値と装置Dにおける外径測定値は、互いに異なる値となるが、それぞれ経時的に変化せず、グラフは横軸に平行な2本の直線となる。

また仮に、光ファイバ3が非円でなく真円形であったならば、光ファイバ3に捻れが生じている場合も生じていない場合も、装置Cにおける



外径測定値と装置 D における外径測定値は同じ値で、かつ経時的に変化しない。したがってグラフは横軸に平行な 1 本の直線となる。

本実施例では、図 3 に示すような、2 つの波形が横軸方向にずれた形状のグラフが得られるので、各種の手法により 2 つの波形の位相の差を求め、これにより光ファイバ 3 の捻れの回転方向および実質回転数を求める。

例えば、外径測定値を微分して最大値を示す点（ピーク）の時刻を求めて比較する方法がある。すなわち、装置 C の測定結果におけるピークの時刻を早い方から C 1、C 2 とし、装置 D の測定結果におけるピークの時刻を早い方から D 1、D 2 とすると、 $C 2 - C 1$  または  $D 2 - D 1$  が捻れが半回転する時間を表す。これに光ファイバ 3 の進行速度（線引速度）を乗じれば捻れが半回転する長さがわかる。また一定長さの光ファイバ 3 における捻れの回転数で表すこともできる。

また、一方の装置における 2 つのピーク（例えば C 1、C 2）と、この 2 つのピークの間にある他方の装置のピーク（例えば D 1）の 3 点を用いて回転方向を知ることができる。すなわち、2 つの測定装置の測定方向のなす角度  $\theta$  が鋭角の場合は、これら 3 点の間隔のうち小さい方が捻れの回転方向を表す。例えば図 3 においては  $C 2 - D 1$  よりも  $D 1 - C 1$  の方が小さい。各ピークは各測定装置による測定位置に長径が位置した時刻であるので、図 3 の C 1 から D 2 の間では、光ファイバ 3 の進行に伴って光ファイバ 3 の長径の位置が C 1 から D 1 へ変化していることがわかり、捻れの回転方向は装置 C による測定位置から装置 D による測定位置へ向かう方向であることがわかる。

また 2 つの測定装置の測定方向のなす角度  $\theta$  が鈍角の場合は、上記 3 点の間隔のうち大きい方が捻れの回転方向を表す。なお、2 つの測定装置の測定方向のなす角度が  $90^\circ$  である場合は、測定結果は図 4 のよう

になり、回転方向が異なっても同じ測定結果となるので、実質回転数は求められるが回転方向を判定することができない。また2つの測定装置による測定方向のなす角度 $\theta$ が $180^\circ$ であると両装置の測定結果は一致するので捻れの測定はできない。

したがって、2つの測定装置による測定方向がなす角度 $\theta$ は $0 < \theta < 90$ または $90 < \theta < 180$ の範囲内に設定され、好ましくは $25 < \theta < 65$ または $115 < \theta < 155$ とすると、ピークの間隔が好ましい距離で得られるので回転方向を求める上で都合がよい。

本実施例によれば、光ファイバ3における捻れの実質回転数および回転方向を正確に測定できるので、実際の捻れの状態を正確に認識することができる。これを用いて光ファイバ3の捻れ状態と偏波モード分散との関係を数値で表すことが可能となり、偏波モード分散が小さい光ファイバを製造する際の製造条件の設定等を簡便に行うことができるようになる。例えば、予め光ファイバ3に捻れを生じさせる条件を変えて種々の光ファイバ素線11を製造し、それぞれの光ファイバ素線11のPMDを測定して、捻れ状態とPMDとの関係を求めておく。そして光ファイバ素線11の製造時には、光ファイバ3の捻れの測定結果に応じて捻れを生じせる手段を制御することにより、光ファイバ素線11のPMDを制御することが可能である。

また、本実施例の捻れ測定装置は、既存の光ファイバ製造ラインに2つの外径測定装置を付加することによって捻れの測定を行うことができるので、装置の構成が簡単であり、装置が大型化することもなく、容易に実施することができる。

なお上記実施例では、光ファイバ母材1の回転方向を常に一定としたので、光ファイバ3の捻れの回転方向は常に一定であるが、光ファイバ母材1の回転方向を、時計回りと反時計回りに、交互に変化させても

よく、そのようにすれば光ファイバ 3 の捻れの回転方向が長さ方向に変化する。

また、光ファイバ 3 に捻れを生じさせる方法として、線引き時に光ファイバ母材 1 を回転させる方法を用いたが、本発明は、これに限らず、線引き工程において光ファイバ 3 の非円状態がほぼ決まった後に捻れが生じる方法であれば、任意の方法を適用することができる。

図 5 は、本発明の光ファイバの製造方法を実施するのに好適な装置の第 2 の実施例を示したもので図 5 (A) は概略工程図、図 5 (B) は図 5 (A) の要部を拡大して示した説明図である。図 5 において、図 1 と同一の構成要素には同一の符号を付して、その説明を省略することがある。

本実施例の装置は、例えば特表平 10-507438 号に開示された方法にしたがって光ファイバを製造するのに好適に用いられる。

図 5 中、符号 21 は捻れ付与用のプーリーであり、2 個のプーリー 21 が一對となっており、光ファイバ素線 23 を挟むように設けられている。プーリー 21 は、その中心軸が光ファイバ素線 23 の進行方向に対して垂直となるように設けられており、走行する光ファイバ素線 23 に引きずられるようにして回転する。また、図 5 (B) 中矢印で示すように、2 個のプーリー 21 を、プーリー 21 の中心軸方向に沿って、相反する方向に進退させることによって、光ファイバ 13 に捻りを加えるように構成されている。

また図示していないが光ファイバ母材 1 を線引きするための加熱炉が設けられている。

本実施例の装置を用いて光ファイバを製造するには、まず光ファイバ母材 1 を加熱炉内に垂直に挿入して加熱、溶融させて線引きすることによって光ファイバ 13 を形成する。光ファイバ母材 1 は回転させない。

線引きにより形成された光ファイバ 1 3 は、捻れ測定装置 4、コーティング装置 5、コーティング同心性モニター 6、紫外線ランプ装置 7 を順に通過する間に被覆層が形成されて光ファイバ素線 2 3 となる。そして被覆層が形成された光ファイバ素線 2 3 が一对のプーリー 2 1 の間を通過することによって、光ファイバ 1 3 に捻りが加えられる。光ファイバ 1 3 の捻れは、加熱炉中の光ファイバ母材 1 の温度が最高温度となるメニスカス下部 B で生じ、光ファイバ 1 3 の非円状態が決まるメニスカス上部 A では捻れは生じていない。光ファイバ 1 3 における捻れの実質回転数はプーリー 2 1 の進退運動の速度によって決まり、捻れの方法はプーリー 2 1 の進退運動の周期に応じて決まる。

したがって、加熱炉とコーティング装置 5 との間に、捻れ測定装置 4 を設けて、光ファイバ 1 3 の外径を、光ファイバ 1 3 の進行方向に対して垂直な面内における異なる 2 方向から同時に測定することによって、前述の捻れ測定方法により光ファイバ 1 3 に生じている捻れの状態を測定することができる。

本実施例によっても、光ファイバ 1 3 における捻れの実質回転数および回転方向を正確に測定することができ、上記実施例 2 と同様の効果を得ることができる。

なお、本発明において、光ファイバの製造装置は上記実施例のものに限らず、線引き工程後かつ樹脂被覆工程前に捻れ測定装置が設けられていればよく、適宜変更可能である。

また、本発明の捻れ測定方法は、光ファイバに限らず、断面が非円形の長尺物の捻れを測定する場合にも適用可能である。また同一平面内における 2 方向からの測定は必ずしも同時に行う必要はなく、同一平面内における測定結果を比較できればよい。例えば、一定長の被測定物の長さ方向に沿って、1 つの外径測定装置で角度を変えて 2 回測定を行うこと

も可能である。この場合、長さ方向に沿って、一方向からの測定を行った結果をコンピュータに記憶させておき、この後、同じ部位について他方向からの測定を行い、同一平面内における測定結果を対応させながら演算処理することによって捻れを測定することが可能である。ただし、光ファイバの製造工程のように被測定物が進行している場合や、光ファイバのように線引き後、直ちに被覆が施されてしまう場合には、迅速に測定、演算を行う必要があるので、2つの外径測定装置を用いて2方向からの測定を同時に行うことが好ましい。

また測定は2方向からでなく、3方向以上から行うことも可能であるが、演算が複雑化する可能性がある。捻れの方角と周期（実質回転数）を知るためには2方向からで十分である。

#### 実施例

以下、具体的な実施例を示して本発明の効果を明らかにする。

##### （実施例1）

図1の装置を用いて、光ファイバ3に捻れを加えつつ光ファイバ素線11を製造した。捻れ測定装置4としては2つの外径測定装置を備えたものを使用し、それぞれの装置の測定方向がなす角度 $\theta$ は $60^\circ$ とした。

光ファイバ3に捻れを生じさせる条件を5通り（条件a～e）に変えて、光ファイバ素線11の製造を行った。また参照用として捻れを生じさせないで光ファイバ素線11の製造を行った。

製造時に、捻れ測定装置4によって2方向から外径を測定した結果を用いて、上記実施例で述べた手法により、光ファイバ3に生じている捻れの実質回転数を求めた。実質回転数は光ファイバ1m当たりの回転数（単位：rot/m）で表す。また得られた光ファイバ素線11の偏波モー

ド分散の値 (PMD) を求めた。これらの結果を下記表 1 に示す。

また、本実施例では、光ファイバ母材 1 を一方向に回転させることにより光ファイバ 3 に捻りを加えているので、光ファイバ母材 1 の回転数と光ファイバ 3 の捻れの実質回転数とは等しい。したがって、比較のために、見かけの回転数として光ファイバ母材 1 の回転数を表 1 に併記した。

【表 1】

条件	見かけの回転数 (rot/m)	測定した実質回転数 (rot/m)	PMD (psec/ $\sqrt{\text{km}}$ )
Ref(ねじりなし)	—	0	0.62
a	0.02	0.02	0.60
b	0.5	0.5	0.16
c	2.3	2.3	0.05
d	12	12	0.03
e	26	26	0.03

表 1 の結果より、いずれの製造条件においても、見かけの回転数と測定により得られた実質回転数とが等しくなっていることから、捻れの実質回転数が正確に測定されていることが認められる。

また、実質回転数が 0 ～ 12 rot/m の範囲では、実質回転数が増加するにしたがって PMD は減少しており、実質回転数が 12 rot/m 以上の範囲では PMD は変化していないことが認められる。このことから、本実施例においては、光ファイバ素線 11 の製造時に、捻れ測定装置 4 で測定される捻れの実質回転数が 12 rot/m 以上となるように製造条件を制御することにより、光ファイバ素線 11 の PMD を最小化できることがわかる。また、線速を向上させたい場合には、実質回転数 12 rot/m

以上を確保できる範囲で製造条件を制御することによって、PMDが低い光ファイバを効率良く製造することができる。

(実施例 2)

図 5 の装置を用いて、光ファイバ 1 3 に捻れを加えつつ光ファイバ素線 2 3 を製造した。捻れ測定装置 4 は、上記実施例 1 と同様の構成とした。なお、光ファイバ母材 1 としては、上記実施例 1 とはパラメータが異なるものを用いた。

加熱炉出口からプーリー 2 1 を設ける位置までの距離を、3 m (プーリーの位置 A)、6 m (プーリーの位置 B) の 2 通りに変化させ、またそれぞれの位置でプーリー 2 1 の進退運動の条件を 3 通り (条件 f ~ h および i ~ k) に変えて、光ファイバ素線 2 3 の製造を行った。また参照用として捻れを生じさせないで光ファイバ素線 2 3 の製造を行った。プーリー 2 1 の位置が異なると、プーリー 2 1 の進退運動の条件が同じであっても、実際の捻れ状態に差が生じることは容易に予想される。プーリー 2 1 の進退運動の周期は 0.2 秒で一定とした。

製造時に、捻れ測定装置 4 によって 2 方向から外径を測定した結果を用いて、上記実施例で述べた手法により光ファイバ 1 3 に生じている捻れの実質回転数を求めた。実質回転数は光ファイバ 1 m 当たりの回転数 (単位: rot/m) で表す。また得られた光ファイバ素線 2 3 の偏波モード分散の値 (PMD) を求めた。これらの結果を下記表 2 に示す。

また、プーリー 2 1 の進退運動の速度を回転数に換算した値を見かけの回転数として表 2 に併記した。

【表 2】

プーリーの位置	条件	見かけの回転数 (rot/m)	測定した実質回転数 (rot/m)	PMD (psec/ $\sqrt{\text{km}}$ )
A (3m)	Ref(捻じれなし)	—	—	0.67
	f	3.0	1.5	0.42
	g	6.0	2.9	0.22
	h	12.0	5.1	0.03
B (6m)	Ref(捻じれなし)	—	—	0.65
	i	3.0	0.3	0.61
	j	6.0	1.6	0.44
	k	12.0	3.7	0.17

図 6 は、計算により求めた見かけの回転数と光ファイバ素線 2 3 の P M D との関係を表したものである。

また図 7 は、測定により得られた実質回転数と光ファイバ素線 2 3 の P M D との関係を表したものである。

これらの結果より、実質回転数と見かけの回転数との間には差があり、プーリー 2 1 の位置が変化すると見かけの回転数と P M D との関係は変化した。これに対して、実質回転数と P M D とは、プーリー 2 1 の位置に関係なく、良好な相関関係を示した。

#### 産業上の利用可能性

以上説明したように本発明の捻れ測定方法によれば、光ファイバの外径を、該光ファイバの長さ方向に対して垂直な面内における異なる 2 方向から、長さ方向に沿って連続的に測定することによって、光ファイバに生じている捻れの状態を正確に測定することができる。したがって、



この測定結果を用いて光ファイバの捻れ状態と偏波モード分散との関係を数値で表すことが可能となり、偏波モード分散が小さい光ファイバを製造する際の製造条件の設定等を効率良く行うことができる。

また、本発明の捻れ測定装置は、2つの外径測定装置を用いて構成することが可能であるので、装置の構成が簡単であり実施容易性が高い。

本発明の光ファイバの製造方法によれば、線引きにより光ファイバを形成する際に捻れを生じさせることにより、偏波モード分散が小さい光ファイバを得ることができるとともに、該光ファイバの外径を光ファイバの進行方向に対して垂直な面内における異なる2方向から連続的に測定することによって、この光ファイバの捻れの状態を測定することができる。したがって、光ファイバの製造工程中で捻れ状態を測定しつつ光ファイバの製造条件を制御することができるので、高品質の光ファイバを効率良く製造することができ、歩留まりを向上させることができる。

また本発明の光ファイバの製造装置によれば、インラインで光ファイバの捻れを測定する手段を備えているので、捻れの測定結果に応じて捻れを生じさせる手段を制御しつつ、偏波モード分散が小さい光ファイバを効率良く製造することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 光ファイバの外径を、該光ファイバの長さ方向に対して垂直な面内における異なる2方向から、該光ファイバの長さ方向に沿って連続して測定することを特徴とする光ファイバの捻れ測定方法。

2. 光ファイバの外径を、該光ファイバの長さ方向に対して垂直な面内における異なる2方向から、該光ファイバの長さ方向に沿って連続して測定する手段を備えてなることを特徴とする光ファイバの捻れ測定装置。

3. 光ファイバ母材を線引きして光ファイバを形成する工程と、該光ファイバに捻れを生じさせる工程と、該光ファイバの外径を該光ファイバの進行方向に対して垂直な面内における異なる2方向から連続して測定する工程を有することを特徴とする光ファイバの製造方法。

4. 光ファイバ母材を線引きして光ファイバを形成する手段と、該光ファイバに捻れを生じさせる手段と、該光ファイバの外径を該光ファイバの進行方向に対して垂直な面内における異なる2方向から連続して測定する手段を備えてなることを特徴とする光ファイバの製造装置。

図 1

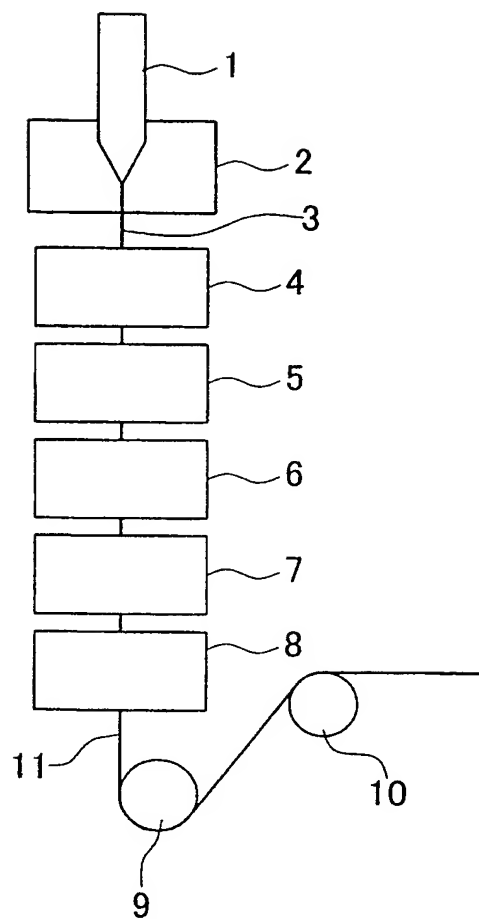


図 2 (A)

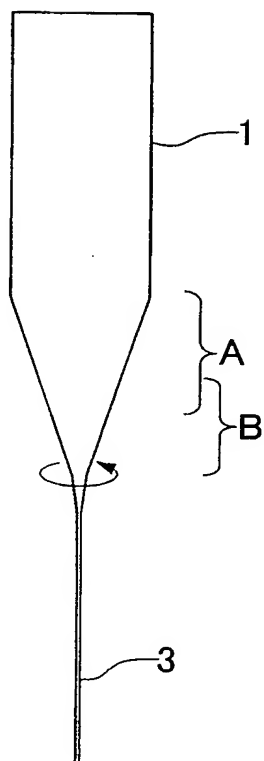


図 2 (B)

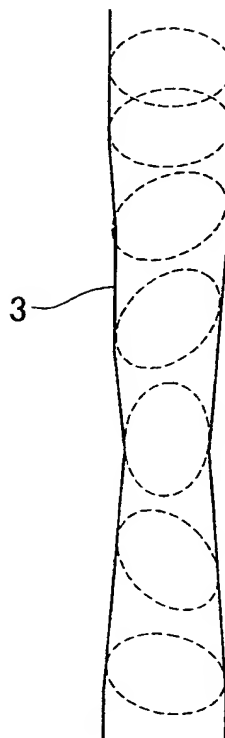


図 3

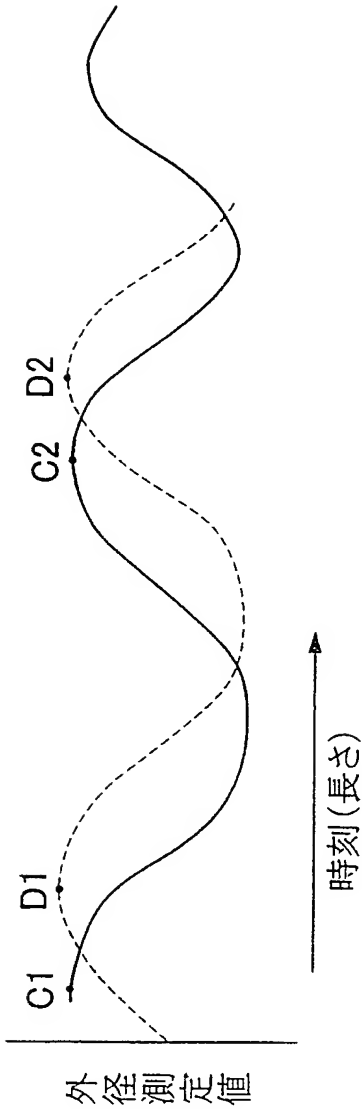


図 4

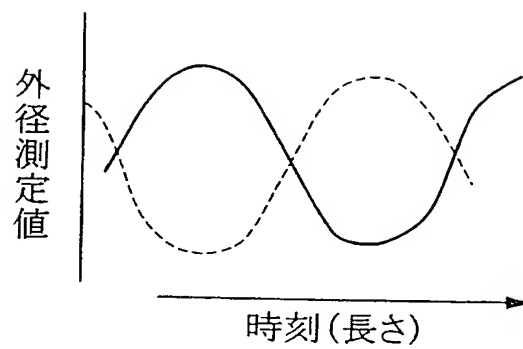


図 5 (A)

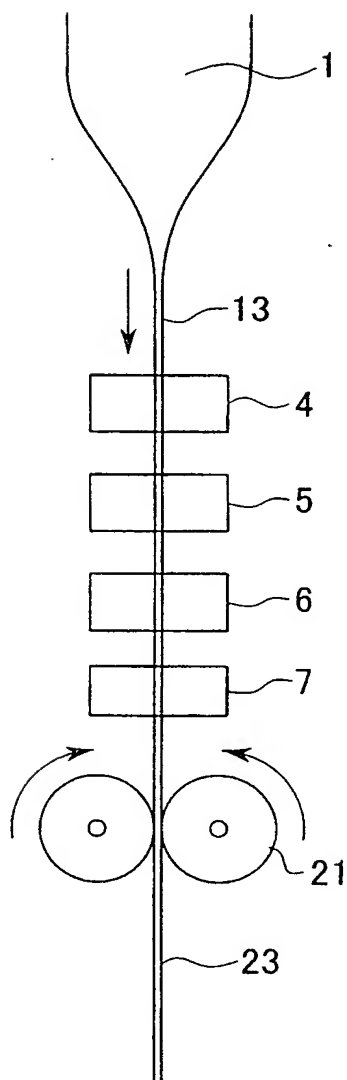


図 5 (B)

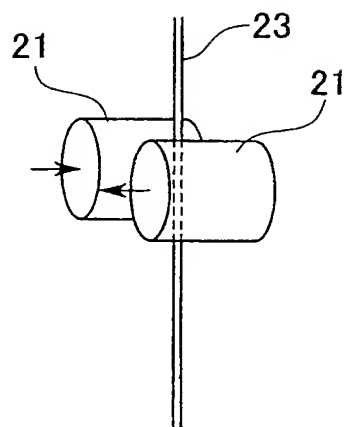


図 6

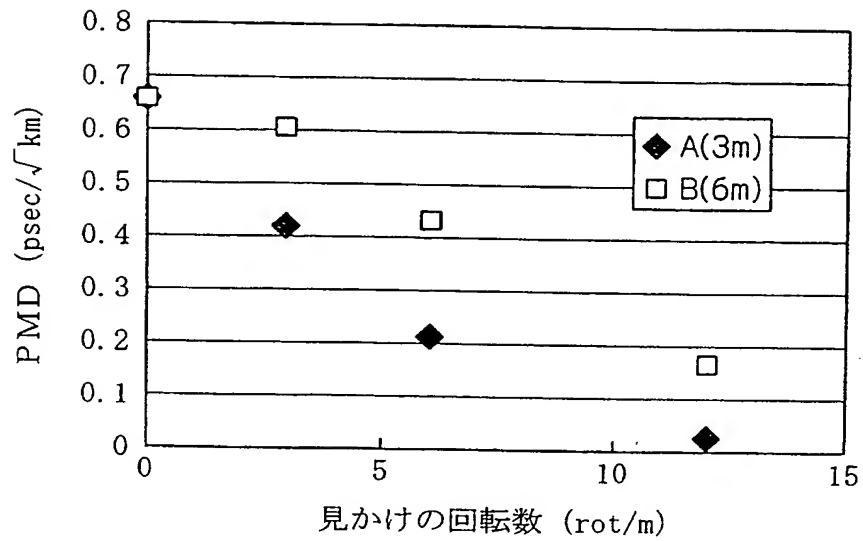
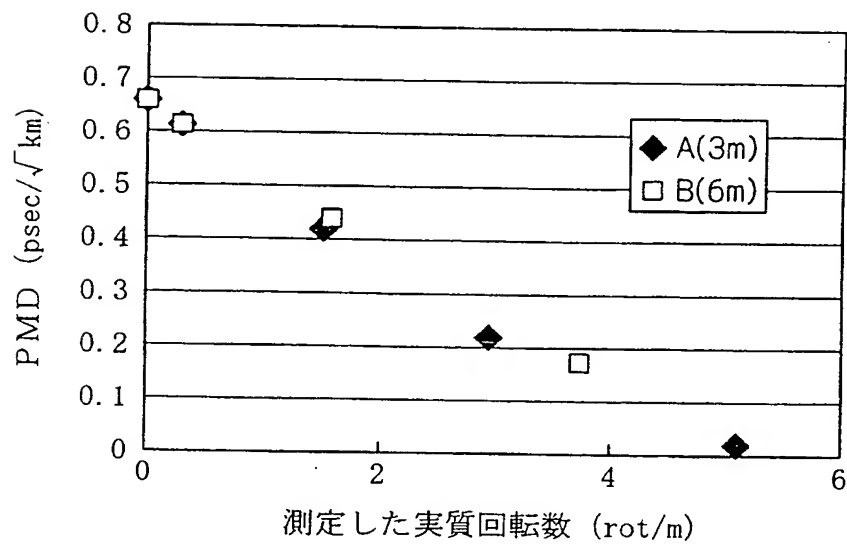


図 7





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/03061

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> C03B37/027, G02B6/00, 356

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> C03B37/027, G02B6/00, 356

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI/L(fiber optics, optical  
 fiber, twist, spin, torque, polarization, dispersion, PMD), JOIS

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages.	Relevant to claim No.
Y	JP, 8-277139, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 October, 1996 (22.10.96), Claims; Par. Nos. [0045] to [0054]; drawings (Family: none)	1-4
A	JP, 63-8233, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 14 January, 1988 (14.01.88), Claims; drawings (Family: none)	1-4
A	JP, 61-40836, A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 27 February, 1986 (27.02.86), Claims; drawings (Family: none)	1-4
A	US, 5822487, A (Corning, Inc.), 13 October, 1998 (13.10.98), Column 4, line 36 to Column 5, line 17; drawings & WO, 9722897, A1 & AU, 9712880, A & EP, 811176, A1 & US, 5704960, A & JP, 11-501113, A Claims; drawings & KR, 98702330, A	1-4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 12 July, 2000 (12.07.00)	Date of mailing of the international search report 25 July, 2000 (25.07.00)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/03061

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, 5581647, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 03 December, 1996 (03.12.96), Claims; drawings & EP, 698582, A2 & JP, 8-59278, A Claims; drawings	1-4
A	EP, 729919, A2 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 September, 1996 (04.09.96), & AU, 4584296, A & JP, 8-295528, A Claims; drawings	1-4
A	US, 5298047, A (AT&T Bell Laboratories), 29 March, 1994 (29.03.94), & CN, 1083449, A & JP, 6-171970, A Claims; drawings & US, 5418881, A & CA, 2098747, C	1-4
A	US, 4473273, A (TRW INC.), 25 September, 1994 (25.09.94), Column 12; drawings & WO, 83000857, A & EP, 87411, A	1-4

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>7</sup> C03B37/027, G02B6/00, 356

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>7</sup> C03B37/027, G02B6/00, 356

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI/L (fiber optics, optical fiber, twist, spin, torque, polarization, dispersion, PMD)、JOIS

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P, 8-277139, A (住友電気工業株式会社)、22. 10月. 1996 (22. 10. 96)、特許請求の範囲、【0045】～【0054】欄及び図面、(ファミリーなし)	1-4
A	J P, 63-8233, A (日本電信電話株式会社)、14. 1月. 1988 (14. 01. 88)、特許請求の範囲及び図面、(ファミリーなし)	1-4
A	J P, 61-40836, A (古河電気工業株式会社)、27. 2月. 1986 (27. 02. 86)、特許請求の範囲及び図面、	1-4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12. 07. 00

国際調査報告の発送日

25.07.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

近野 光知

4 T

9260

電話番号 03-3581-1101 内線 3465

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
	(ファミリーなし)	
A	US, 5822487, A (Corning, Inc.) 13. 10月. 1998 (13. 10. 98)、第4欄36行~第5欄17行及び図面 & WO, 9722897, A1 & AU, 9712880, A & EP, 811176, A1 & US, 5704960, A & JP, 11-501113, A、特許請求の範囲及び図面、& KR, 98702330, A	1-4
A	US, 5581647, A (Sumitomo Electric Industries, LTD.)、3. 12月. 1996 (03. 12. 96)、特許請求の範囲及び図面 & EP, 698582, A2 & JP, 8-59278, A、特許請求の範囲及び図面	1-4
A	EP, 729919, A2 (Sumitomo Electric Industries, LTD.)、4. 9月. 1996 (04. 09. 96)、& AU, 4584296, A & JP, 8-295528, A、特許請求の範囲及び図面	1-4
A	US, 5298047, A (AT&T Bell Laboratories)、29. 3月. 1994 (29. 03. 94)、CN, 1083449, A & JP, 6-171970, A、特許請求の範囲及び図面 & US, 5418881, A & CA, 2098747, C	1-4
A	US, 4473273, A (TRW INC.)、25. 9月. 1994 (25. 09. 94)、第12欄及び図面 & WO, 83000857, A & EP, 874111, A	1-4